

電圧及び光駆動方式の半導体空間光変調パネルの開発

著者	桑村 有司
著者別表示	Kuwamura Yuji
雑誌名	平成17(2005)年度 科学研究費補助金 基盤研究(C) 研究成果報告書
巻	2004-2005
ページ	6p.
発行年	2006-03
URL	http://doi.org/10.24517/00053970

電圧及び光駆動方式の半導体空間光変調パネルの開発

1 6 5 6 0 0 3 5

平成 16 年度～平成 17 年度科学研究費補助金
(基盤研究 (C) (2)) 研究成果報告書

平成 18 年 3 月

研究代表者 桑村 有司

金沢大学自然科学研究科 講師

金沢大学附属図書館



0800-04185-2

は し が き

3次元空間に広がりを持つ光は並列演算に適した物理媒体であり、並列光コンピュータの構想が推し進められている。光コンピュータは縦続的に接続したパネル型光デバイスを用いて2次元光信号を演算処理して工学的に有意義な2次元光信号を作り出すシステムである。図1に並列光コンピュータシステムにおける情報処理の概念図を示した。光源アレーと光検出アレーの間に数枚の空間光変調パネルを挿入して、変調パネルにデータを入力し、光源アレーで演算則を定め、光検出アレーで演算結果を得るといような構想である。演算を行う中心デバイスは、電圧または光駆動方式による光透過タイプの空間光変調パネルである。既に半導体を用いた光源アレー（面型半導体レーザ等）や光検出アレーは開発されているが、動作速度の速い透過型の空間光変調パネルは存在しない。動作速度の遅い（最速 1MHz まで）液晶や電子管を利用した空間光変調器が存在するだけである。半導体を用いた光変調パネルでは動作速度が 1GHz 程度まで早くできる特徴がある。本研究は当該研究グループが独自に提案し、開発を進めてきた半導体の面型光変調器を光コンピュータ用として利用するために行なった開発研究である。

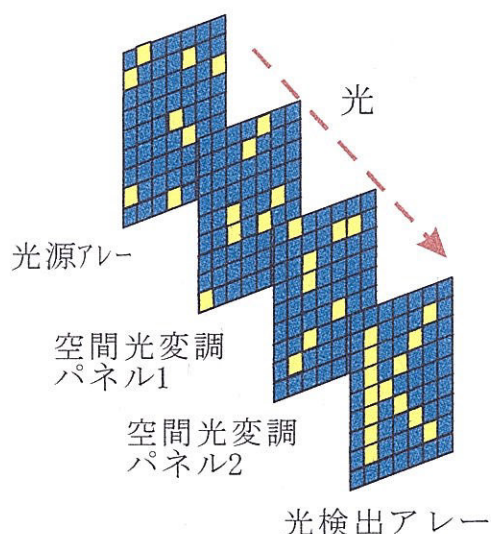


図1. 並列光コンピュータの構想

研究組織

研究代表者：桑村 有司（金沢大学自然科学研究科講師）

研究分担者：山田 実（金沢大学自然科学研究科教授）

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合 計
平成 16 年度	1,600,000	0	1,600,000
平成 17 年度	1,700,000	0	1,700,000
総 計	3,300,000	0	3,300,000

研 究 発 表

ア) 学会誌等

(1) M. Asada and M. Yamada

“Theoretical analysis of interaction between electron beam and electromagnetic wave for unidirectional optical amplifier”, J. Appl. Phys., Vol. 95, No. 9, pp. 5123-5130, (2004, 5)

(2) V. Z. Tronciu, M. Yamada, T. Kawakami, S. Ito, T. Ohno, M. Taneya and R. A. Abram

“A theoretical and experimental investigation of the dynamics of tandem blue-violet lasers”, Optics Communications, Vol. 235, pp. 409-414, (2004, 5)

(3) M. Ahmed and M. Yamada

“Field fluctuations and spectral lineshape in semiconductor lasers subjected to optical feedback”, J. Appl. Phys. Vol. 95, No. 12, pp. 7573-7583, (2004. 6)

- (4) Moustafa Ahmed, Safwat W. Z. Mahmoud and M. Yamada
 "Operation Characteristics and Intensity Noise of Semiconductor Lasers Pumping Fiber Amplifiers", AIUB Journal of Science and Engineering, Vol. 3, No. 1, pp. 1-6, (2004, 8)
- (5) V. Z. Tronciu, M. Yamada and R. A. Abram
 "Investigation of self-pulsation and excitability of tandem blue lasers", AIUB Journal of Science and Engineering, Vol. 3, No. 1, pp. 7-10, (2004, 8)
- (6) V. Z. Tronciu, M. Yamada, and R. A. Abram
 "Analysis of the dynamics of a blue-violet InxGa1-xN laser with a saturable absorber", Phys. Rev. E, Vol. 70, 026604(6), (2004, 9)
- (7) Y. Kuwamura, M. Yamada, Y. Ichino, I. Fukamura and T. Sekikawa
 "Observation of optical amplification excited by traveling electron beam", Jan. J. Appl. Phys., Vol. 43, No. 10, pp. 7109-7110, (2004, 10)
- (8) M. Ahmed and M. Yamada
 "Noise of Semiconductor Lasers in Optical-Disc Systems", AIUB Journal of Science and Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 11-17, (2005, 8)
- (9) V. Z. Tronciu, M. Yamada and R. A. Abram
 "Excitability of Blue Laser with Saturable Absorber", AIUB Journal of Science and Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 25-28, (2005, 8)
- (10) K. Matsuoka, K. Saeki, E. Teraoka, M. Yamada and Y. Kuwamura
 "Quantum Noise and Feed-Back Noise in Blue-Violet InGaN Semiconductor Lasers", IEICE Trans. Electron, Vol. E89-C, No. 3, pp. 437-439, (2006, 3).
- (11) M. Yamada, K. Saeki, E. Teraoka, and Y. Kuwamura
 "Reduction of the Intensity Noise by Electric Positive and Negative Feedback in Blue-Violet InGaN Semiconductor Lasers", IEICE Trans. Electron, to be published, (2006).

イ) 口頭発表, 報告書

- (1) 桑村有司, 山田実, 市野幸弘, 深村功, 上野智之, 富田洋輔, 「電子ビームによる光およびミリ波増幅現象の観測」, 電子通信学会技術報告, LQE2004-3, Vol. 104, No. 98, pp. 1-4, (2004, 5)
- (2) 松岡顕二郎, 佐伯和司, 寺岡栄治, 桑村有司, 山田実, 「InGaN系青紫色半導体レーザの雑音特性と雑音低減化」, 電子通信学会技術報告, LQE2005-3, pp. 9-12, (2005, 5)
- (3) 桑村有司, 山田実, 「電子ビームによる光増幅現象の観察」, 電気学会ナノメートル電磁波・X線電磁界技術調査専門委員会資料, NANO-XEMT-05-2, pp. 7-14, (2005, 12)

ウ) 印刷物

- (1) M. Yamada and Y. Kuwamura "Development of Ultra-Wide-Band Optical Amplifier" in IPAP Books 2: Photonics Based on Wavelength Integration and Manipulation, Published by The Institute of Pure and Applied Physics, pp. 127-136, (2005)

研究成果

1. 電圧駆動方式の面型光変調器の改良と高性能化

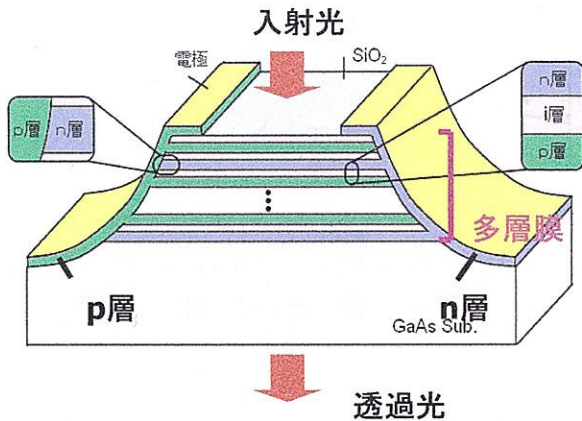


図2. 面型光変調器の素子構造

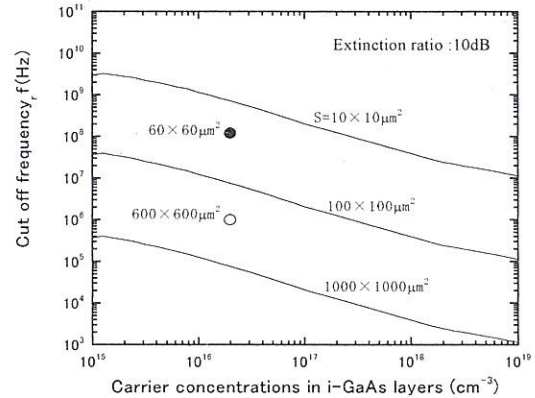


図3. 動作速度

当該研究グループで独自に提案し開発を進めている平面型光変調素子の断面構造を図2に示す。この変調素子は、直接遷移型半導体中に電界を加えると光吸収が増加する現象を利用したもので、図2中央の p-GaAs / i-GaAs / n-GaAs...多層膜中の i-GaAs 層の内部電界を外部電圧により可変制御して透過光を強度変調するものである。光は上側から入力し、下側へ透過させる平面型でかつ透過タイプであり、面内に多数集積することで空間光変調器を構成できる。電圧は左右に設けた p-GaAs と n-GaAs 層上部の電極間に印加して、多層膜中の p-GaAs および n-GaAs 導電層を通じて多数の i-GaAs 層内に電界を加える構造としている。この構造が我々の変調器の大きな特徴であり、低い電圧変化で高い消光比が実現できる。p 側及び n 側電極に対して無バイアスの時には「光透過」、逆バイアスを加えると「光遮断」となる。

変調器の高性能化では、高速化と消費電力の低減を目的として以下の2点の改良を行なった。動作速度 f_c は変調画素の静電容量 C と回路の抵抗 R の CR 時定数 ($f_c = 1/\pi CR$) で決定される。そこで素子の小型化により静電容量を小さくして高速化をはかった。図3は素子サイズ S と予想される動作速度の見積もりで、数 GHz までの高速化が実現可能である。

一方、従来素子の1画素当りの消費電力は約 $1 \sim 2 \text{ mW}$ と大きく、集積化の問題となっていた。この原因は、逆バイアス印加時に多層膜と左右の p および n 型電極層界面にある pn 接合面で、漏れ電流が多く流れてしまうという問題があった。そこで、左右の p 及び n 型電極層の濃度を従来素子の濃度より1ケタ低く (10^{18} cm^{-3} から 10^{17} cm^{-3}) することで、逆方向耐電圧を高くして漏れ電流を抑える改良を試みた。

2. 改良した素子試作と特性

素子試作には3回の液相結晶成長法を利用した。まず、絶縁性 GaAs 基板上に n-GaAs ($1 \mu\text{m}: 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、i-GaAs ($1 \mu\text{m}: 2 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$)、p-GaAs ($2 \mu\text{m}: 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) の各層を図2に示すように順次積み重ね、20層の i-GaAs 層を有する多層膜を成長した。その後、化学エッチングにより多層膜の左右を溝形状に取り除いてストライプ形状のメサを形成した。2回目と3回目の結晶成長では、 SiO_2 膜を用いた選択成長により多層膜の左右の溝部に n-GaAs と p-GaAs をそれぞれ埋め込み成長した素子サイズとしては約 $60 \times 60 \mu\text{m}^2$ 程度までの小型化を行なった。図4および図5には、それぞれ作製した素子の断面写真、消光特性を示した。液相成長の方法改良や成長時間の条件を再調整した結果、図4に示すような多層膜厚の均一成長が実現できた。波長 890 nm の光入射に対する

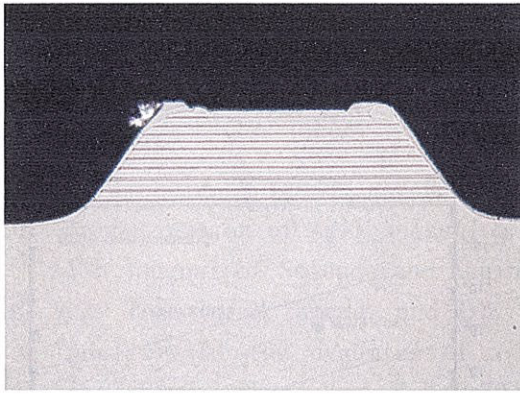
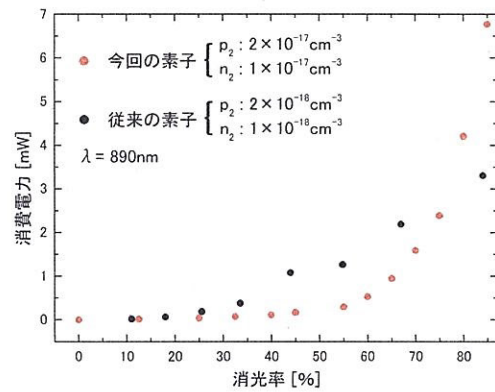
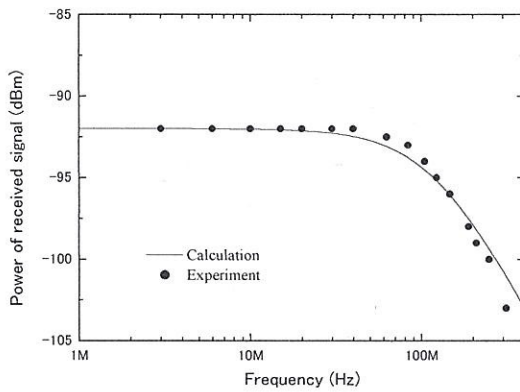
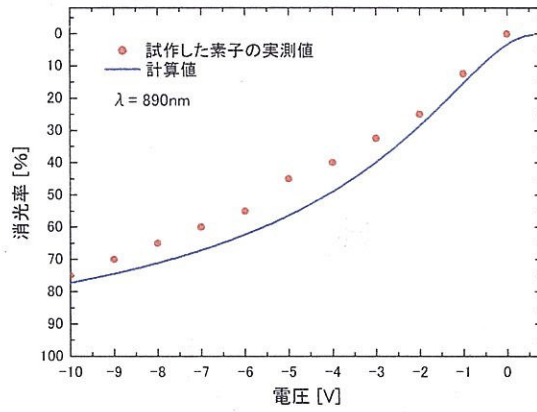


図 4. 試作した素子の断面写真



消光比は図 4 中の赤丸で示すように 10V の電圧変化で約 8dB の消光であった。

図 6 と図 7 には、それぞれ変調素子の変調周波数特性、消費電力と消光比の関係を示した。素子寸法を $60 \times 60 \mu\text{m}^2$ まで小型化したため、動作速度は 120MHz まで向上した。また、改良した素子の消費電力は図 7 中で赤丸印で示してある（黒丸：従来素子）が、消費電力は 0.1mW となり（消光率 55% の条件；従来素子電力 1.5mW），従来素子の 1/10 以下まで消費電力を低減できた。

3. 光駆動方式の空間光変調素子の開発

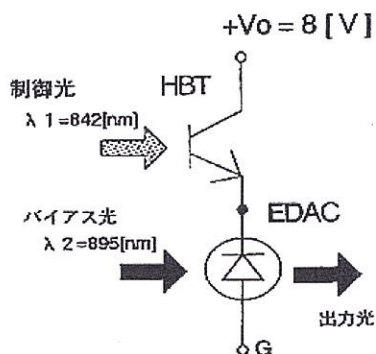
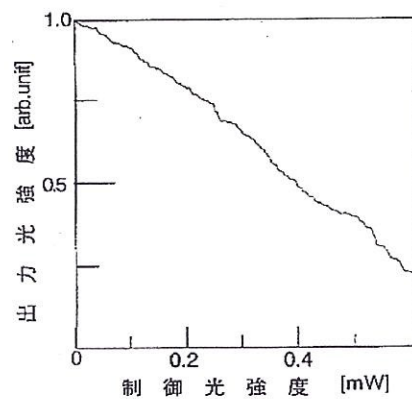


図 8. 光駆動方式の空間光変調素子の等価回路



光駆動方式の空間光変調素子については、ヘテロバイポーラフォトトランジスタ（HBT）と電圧駆動方式の光変調素子（EDAC）とを直列接続した図 8 の等価回路で示される構成で、光—光制御特性を調べた。HBT 光検出器に入力した波長 842nm の光強度（制御光強度）で、EDAC から出力した波長 895nm のバイアス光強度（出力光強度）を制御した。図 9 に光—光制御実験の結果を示した。0.6mW の制御光で、バイアス光の出力光強度が 1/4 まで低減でき、光反転演算ができることを実験で実証した。その他、多様な光演算操作については今後の課題となった。

3. 大規模集積化した空間変調器

1000×1000 程度に大規模集積化した空間変調器の実現までは達成できなかったが、大規模集積化（1000×1000）における各種プロセス技術の開発を行った。微細加工技術及びプロセス技術の改善や電気配線法などの実験的検討を行い、大規模集積化に向けての基盤技術が確立できた。

4. まとめ

当該グループで提案し開発を行ってきた面型光変調器を光コンピュータ用として利用するための電気駆動方式の光変調素子の高性能化・高機能化と光駆動方式の変調素子に関する研究を行った。電気駆動方式の素子としては変調画素の高速化と消費電力の低減を目的とした。速度は 120MHz（従来 1.2MHz）までの高速でき、消費電力は 0.1mW（従来 1～2mW）まで低減することができた。一方、光駆動方式としては、ヘテロバイポーラフォトトランジスタと上記変調素子を利用して光反転演算ができることを実証した。

1000×1000 程度に大規模集積化した空間変調器の実現までは達成できなかったが、低電力化への問題解決策や微細加工技術及びプロセス技術の改善や電気配線法などの実験的検討を行い、大規模集積化に向けての基盤技術が確立できた。